

Conference Paper, Published Version

**Carstensen, Dirk; Rudolf, Andreas; Sattler, Robert; Heß, Max; Vollweiler, Tilo**

## **Wasserbauliche Modellversuche für die Hochwasserentlastung und Betriebsauslässe des HRB Wippa**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103449>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Carstensen, Dirk; Rudolf, Andreas; Sattler, Robert; Heß, Max; Vollweiler, Tilo (2014): Wasserbauliche Modellversuche für die Hochwasserentlastung und Betriebsauslässe des HRB Wippa. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Simulationsverfahren und Modelle für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 50. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 285-294.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## **Wasserbauliche Modellversuche für die Hochwasserentlastung und Betriebsauslässe des HRB Wippra**

Dirk Carstensen  
Andreas Rudolf  
Robert Sattler  
Max Heß  
Tilo Vollweiler

Am Flusslauf der Wipper in der Nähe der Ortschaft Wippra (Deutschland, Harz) soll in den Jahren 2014 und 2015 ein Hochwasserrückhaltebecken (HRB) errichtet werden. Das Absperrbauwerk wird in Form eines Steinschüttdammes mit geneigter Innendichtung ausgebildet, wodurch die Wipper als ökologisches Gerinne hindurch geführt und mittels Planschütz abriegelbar sein wird. Sämtliche Tosbecken werden in der Sohle vertieft angeordnet und befinden sich im Inneren des Durchleitungsbauwerkes. Ebenfalls wird in das Komplexbauwerk eine Hochwasserentlastung integriert, die mit ihren Überfallkanten wasserseitig der Verschlüsse angeordnet sein wird. Sie besteht aus zwei Fallschächten mit dazugehörigen Ableitungsstollen sowie zwei Tosbecken am luftseitigen Dammfuß. Um die ökologische Durchgängigkeit des Bauwerkes zu gewährleisten, sollen die Tosbecken mit einem natürlichen Kornmaterial verfüllt werden. Im Belastungsfall sollen die Tosbecken freigespült werden, um die Energieumwandlung zu garantieren. Zur Bestätigung der hydraulischen Funktion des Komplexbauwerkes sowie zur Optimierung der Tosbecken und der Hochwasserentlastungsanlage wurde ein physikalisches Modell im Maßstab 1:20 erstellt. Neben der Bestimmung der Überfallcharakteristik für die Hochwasserentlastung wurden durch den Modellversuch konstruktive Verbesserungen zur Strömungsgleichrichtung im Fallschacht vorgenommen. Des Weiteren wurden Versuche zur Bestimmung eines geeigneten Kornmaterials für die Verfüllung der Tosbecken sowie zur Vermeidung von Verklausungen durchgeführt.

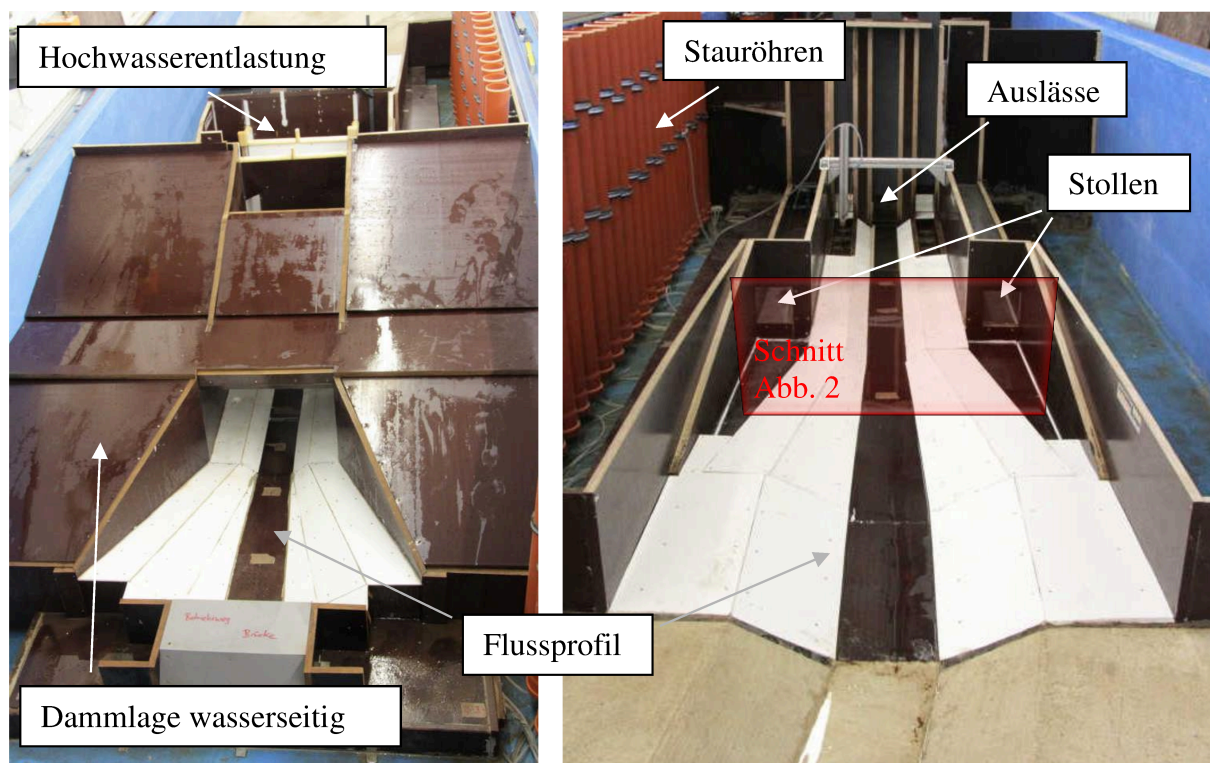
Stichworte: Hochwasserentlastung, Komplexbauwerk, ökologische Durchgängigkeit

### **1 Geplantes Bauwerk und Modellkonzeption**

Im Zeitraum 2014/2015 wird am Flusslauf der Wipper im Harz (Deutschland) das Hochwasserrückhaltebecken (HRB) Wippra errichtet werden. Das Becken ist als „Grünes Becken“ geplant und wird dem Hochwasserschutz der flussab-

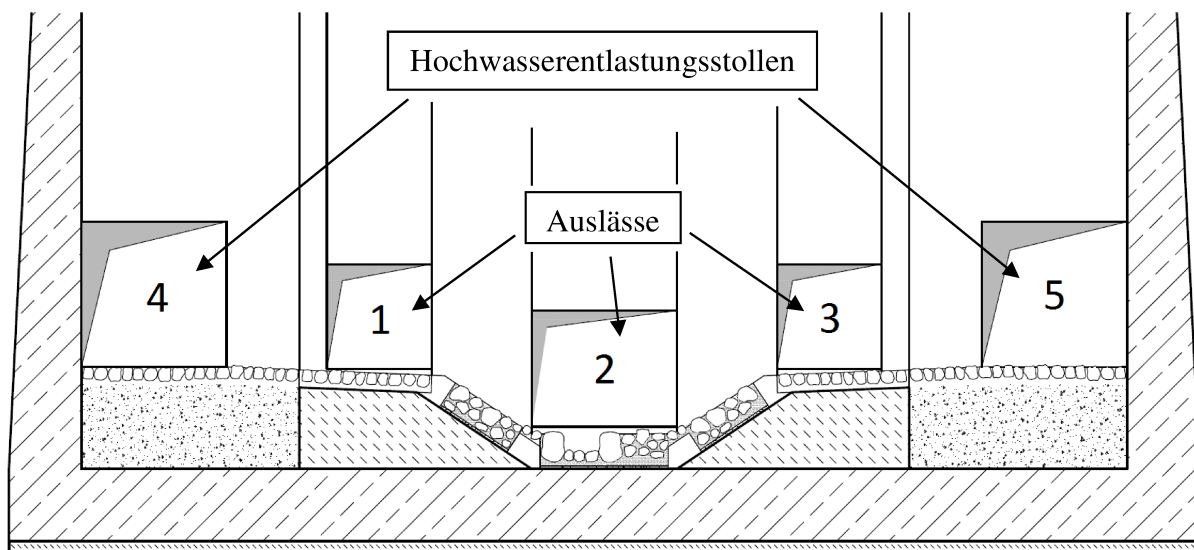
wärts gelegenen Ortschaften dienen. Wegen seiner Stauraumgröße und Stauhöhe entspricht das HRB, gemäß eines Standards des Deutschen Instituts für Normung, der DIN 19700-12, einem „Großen Becken“.

Das Gewässer wird mittels Komplexbauwerk (KB), bestehend aus einem durch den Steinschüttdamm mit geneigter Innendichtung hindurchgeführtes ökologisches Gerinne, mit einem Planschütz als Verschluss, sowie seitlich auf den luftseitigen Bermen befindlichen Betriebsauslässen, durch den Damm hindurch geführt (vgl. Abbildung 1 & Abbildung 2). Die hinter den Auslässen angeordneten Tosbecken werden in der Sohle vertieft angeordnet und befinden sich im Inneren des Durchleitungsbauwerkes.



**Abbildung 1:** Ansicht Gesamtmodell; links: wasserseitige Dammlage und Flussbett; rechts: luftseitiger Damm mit freigelegten Betriebsauslässen, Stollen der Hochwasserentlastung und ökologischem Gerinne

Eine Hochwasserentlastung (HWE) ist ebenfalls in das KB integriert, die mit ihren Überfallkanten wasserseitig der Verschlüsse angeordnet ist und aus zwei Fallschächten, Ableitungsstollen sowie zwei Tosbecken am luftseitigen Dammfuß bestehen wird. Um die terrestrische, aquatische und somit ökologische Durchgängigkeit des Bauwerkes zu erreichen, ist geplant, die Tosbecken mit einem natürlichen Kornmaterial zu verfüllen. Um im Belastungsfall die Energieumwandlung zu garantieren sollen die Tosbecken anhand der hohen Fließgeschwindigkeiten freigespült werden.



**Abbildung 2:** Ansicht Schnittführung gemäß Abb. 1: Gewässerdurchlass (2) und Betriebsauslässe (1 & 3), Hochwasserentlastungsstollen (4 und 5)

Im Auftrag des Talsperrenbetriebes Sachsen-Anhalt (TSB) wurden die physikalischen Modellversuche in der großen Wasserbau-Versuchsrinne (16 m lang, 2,20 m breit und 1,0 m tief) im Labor für Wasserbau der Technischen Hochschule Nürnberg (LWN) durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war die Prüfung der hydraulischen Eignung der geplanten Hochwasserentlastungsanlage, die Sicherstellung der Funktion der Tosbecken für verschiedenste Belastungsfälle sowie ggf. Optimierungen (Geometrie der Tosbecken, Empfehlungen bezüglich des Füllmaterials, usw.) vorzunehmen. Aus den vom Planer übergebenen Konstruktionsunterlagen wurde ein Modell im Maßstab 1 : 20 umgesetzt. Der Modellabschnitt mit Hochwasserentlastung, Betriebsauslässen sowie Tosbecken wurde so errichtet, dass alle hydraulischen Vorgänge sichtbar und bauliche Veränderungen infolge der Auswertung der Versuchsergebnisse möglich waren.

## 2 Physikalisches Modell

### 2.1 Modellwahl und Maßstab

Bei diesen Untersuchungen, bei denen die Schwere- und Trägheitskräfte überwiegen und die Zähigkeit des Wassers vernachlässigbar ist, wurde das Modell infolge der zu erwartenden Strömungseffekte entsprechend dem Froudeschen Modellgesetz erstellt und betrieben. Aus dem gewählten Modellgesetz sowie dem Modellmaßstab 1 :  $M_L = 1 : 20$  ergaben sich die in Tabelle 1 angegebenen Maßstabskennzahlen.



Im Modell müssen grundsätzlich alle Kräftearten Berücksichtigung finden (Trägheitskraft, Schwerkraft, Reibungskraft, Kapillarkraft (Oberflächenspannung) und Elastizitätskraft), um die Erfüllung der dynamischen Ähnlichkeit zu gewährleisten.

**Tabelle 1:** Maßstabskennzahlen Froudesches-Modellgesetz; Modell HRB Wippra

Größe	Länge, Breite, Höhe	Fläche	Volu- men	Kraft	Zeit	Fließge- schwindig- keit	Durch- fluss
Maßstabs- faktor	M	M <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	M <sup>3</sup>	M <sup>1/2</sup>	M <sup>1/2</sup>	M <sup>5/2</sup>
Maßstabs- kennzahl	20	400	8.000	8.000	4,47	4,47	1788,9

Die vollständige dynamische Ähnlichkeit im hydraulischen Modell ist nur durch die Vernachlässigung bestimmter Kräfteinflüsse erreichbar (*Martin et al.*, 2009). Die Ähnlichkeit bezüglich der Trägheits- und Schwerkraft wird durch Anwendung des Froudeschen Modellgesetzes eingehalten.

Einflüsse aus Reibungskräften werden über die Reynoldszahl einbezogen. Das Verhältnis von Trägheit- zu Oberflächenspannung wird durch die Weberzahl ausgedrückt. Ab einer Wassertiefe im Modell von  $h > 2$  cm können i.d.R. Maßstabseffekte aus zu hohen Kapillarkräften ausgeschlossen werden (*Oumeraci*, 1998). Die Versuche wurden bei naturähnlichen, konstanten Raum- und Wassertemperaturen im Labor durchgeführt. Der Einfluss der Elastizitätskraft konnte aus diesem Grund vernachlässigt werden.

## 2.2 Modellbau, Materialien und Randbedingungen

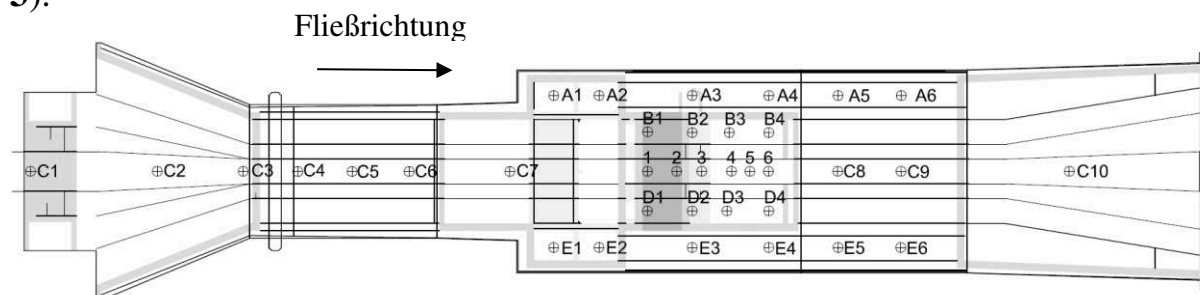
Die Umsetzung des Modells erfolgte unter Verwendung von Siebdruck-, Forex- und PVC-Platten. Für die Montage und Positionierung von Messgeräten wurden Aluminiumleichtprofile verwendet. Zur visuell Beurteilung der Strömungssituation in den Stollen der Hochwasserentlastung, wurden deren Decken aus transparentem Plexiglas gefertigt. Die Tosbecken sind als Hohlkästen bzw. Vertiefungen in der Sohle ausgeführt worden, um Versuche mit ebener, fester Sohle (Abdeckung der Öffnung durch Kunststoffplatten) zur Bestimmung der Strömungsparameter sowie das Ausräumen der mit definiertem Material gefüllten Tosbecken im Belastungsfall separat untersuchen zu können.

Der geforderte Durchfluss für die einzelnen Versuchsreihen wurde mittels frequenzgesteuerter Pumpen im Labor bereitgestellt (vgl. Tabelle 2).

**Tabelle 2:** Durchflüsse [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] für die Hochwasserbemessungsfälle (HWBF) 1, 2 und 3; physikalisches Modell HRB Wippra, Modellmaßstab 1 :  $M_L = 1 : 20$

	HWBF 1		HWBF 2		HWBF 3	
	Natur	Modell	Natur	Modell	Natur	Modell
Q Auslässe	8,0	0,0045	64,2	0,0359	14,0	0,0078
Q HWE	35,4	0,0198	19,2	0,0107	0,0	0,0
Q Gesamt	43,4	0,0243	83,4	0,0466	14,0	0,0078

Zur Erfassung der Wasserspiegellagen in allen Bereichen des Modells, wurden bereits beim Bau des Modells eine Vielzahl an Messschläuchen verlegt, welche in vertikale Stauröhren (vgl. Abbildung 1) münden. Mit dem Prinzip der kommunizierenden Wassersäule konnten so die Pegel mittels Ultraschallmesssonden aufgenommen werden. Insgesamt wurden 36 Messpunkte installiert, wodurch auch schwer zugängliche Bereiche des Modells erfasst wurden (vgl. Abbildung 3).

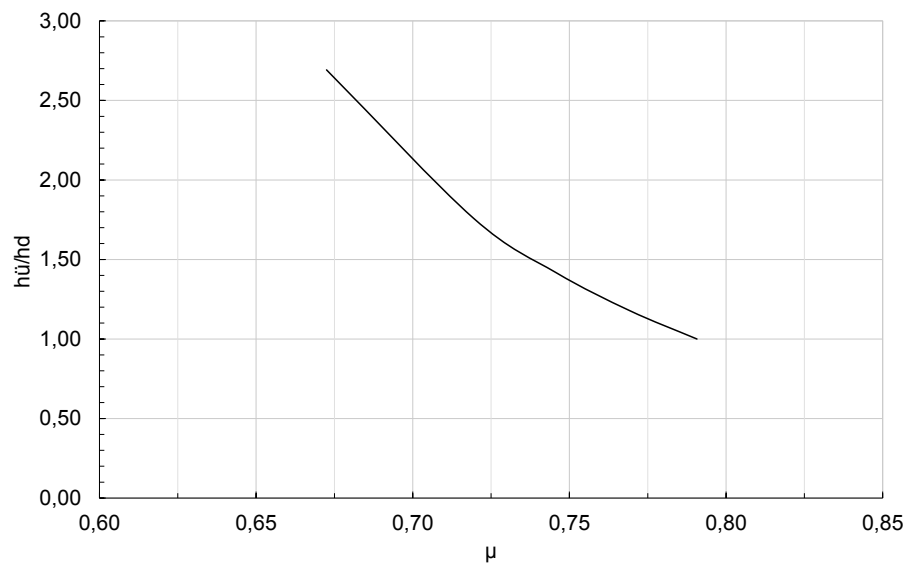


**Abbildung 3:** Lage der Messpunkte für die Bestimmung der Wasserspiegellagen

### 3 Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Einlaufbereich HWE

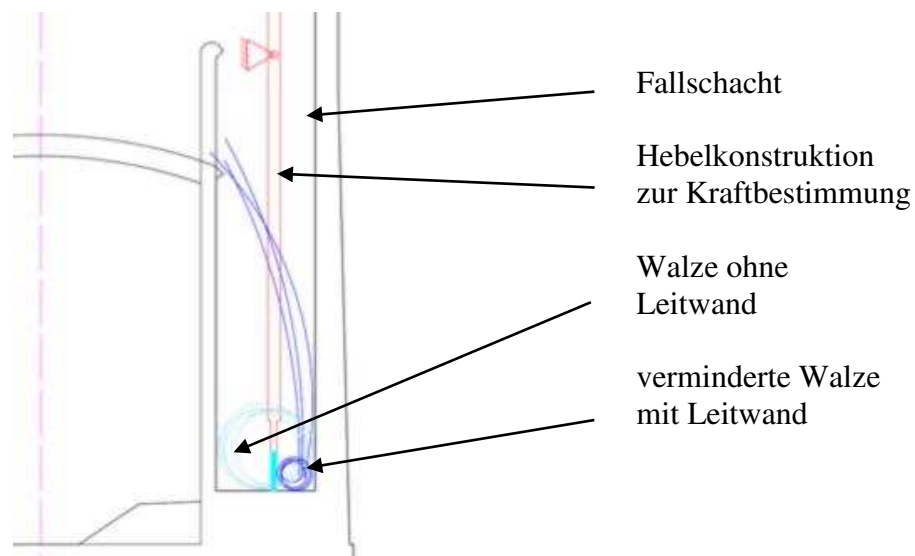
Die Messung des Wasserspiegels im Bereich des Einlaufes der HWE wurde mittels Stechpegel und Ultraschallsonden aufgenommen. Die Überfallhöhen vor und an den Überfallkronen sind mit variierenden Abflüssen (vgl. auch Tabelle 2) durchgeführt worden. Die Abhängigkeit der Überfallhöhe vom Durchfluss sowie die Überfallbeiwerte ( $\mu$ -Beiwerte) konnten anhand der Messergebnisse bestimmt werden.



**Abbildung 4:** Überfallbeiwert für die Hochwasserentlastung des HRB Wippra

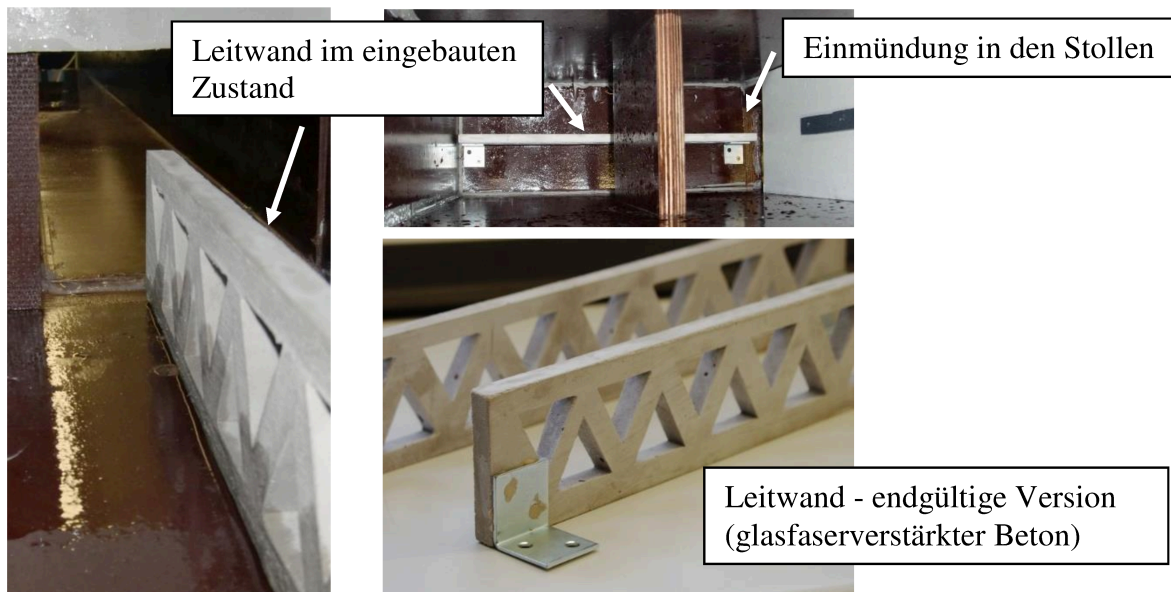
### 3.2 Ein- und Auslaufbereiche der HWE

Bei der Ableitung des Hochwassers über die HWE fällt das Wasser in zwei symmetrisch angeordnete Fallschächte bis auf das Niveau der Stollensohle. Damit verbunden wurde im Modellversuch im unteren Drittel der Fallschächte eine Walzenbildung beobachtet. Infolge dieser Walze war der Abfluss in den Stollen sehr turbulent.



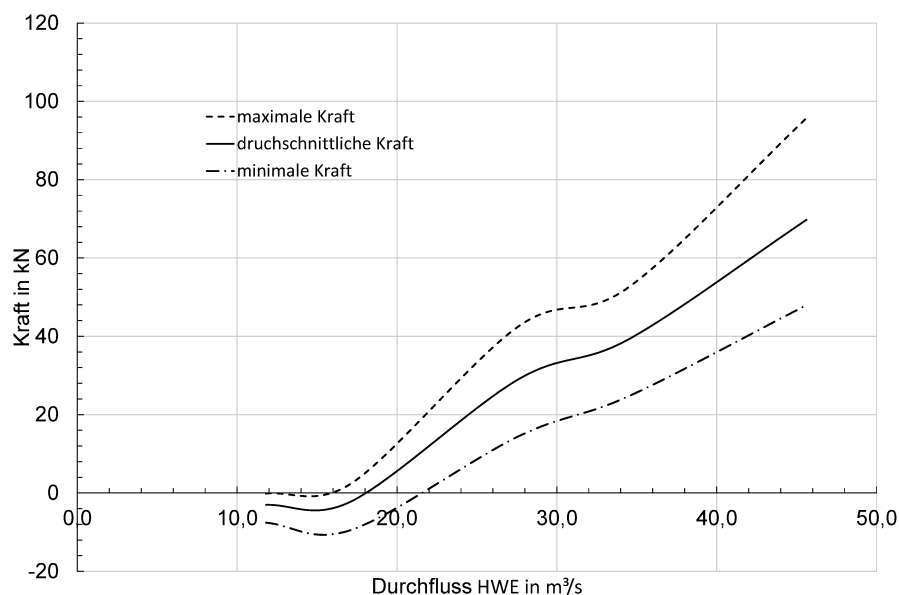
**Abbildung 5:** Skizze; Verminderung der Walzenausbildung an der Fallschachtsohle

Zur Unterbindung der Walzenbildung sowie für die Gewährleistung eines Abflusses mit freier Oberfläche, wurden Leitwände aus Leichtbeton erstellt und installiert.



**Abbildung 6:** Leitwände zur Strömungsberuhigung am Boden der HWE-Fallschächte

Die stufenweise optimierten Leitwände sind mit Öffnungen versehen worden, um eine teilweise Durchströmung sicher zu stellen. Auf diese Weise wurde eine optimale Beruhigung der turbulenten Strömung erreicht und gleichzeitig wurden die wirkenden Kräfte begrenzt.



**Abbildung 7:** Angreifende Kraft an den Leitwänden in den Fallschächten der HWE

Zur Messung der angreifenden Kräfte wurde eine spezielle Hebelvorrichtung (vgl. rote Linien in Abbildung 5) mit integriertem Kraftaufnehmer erstellt. Die in Abbildung 7 dargestellten Ergebnisse visualisieren die infolge des zeitabhängig in die Fallschächte gelangenden Wassers vorhandenen Belastungen, wobei

die positive und negative Richtung der Kraft durch die Position des Kraftaufnehmers innerhalb der Messvorrichtung begründet ist.

### **3.3 Tosbecken**

Mit dem betriebsbedingten, kontinuierlich ansteigenden Wasserspiegel im Hochwasserfall resultiert ein Geschwindigkeitszuwachs an den Öffnungen des Gewässerdurchlasses und der Auslässe auf den Bermen. Die zu Beginn relativ geringen Geschwindigkeiten von etwa 4,3 m/s können im HWBF 1 bis zu 18,06 m/s erreichen. Versuchsserien zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten mittels Staurohrtechnik vor dem Eintritt und im Bereich der Tosbecken wurden zur Untersuchung der Funktion und der damit verbundenen Freispülung der Tosbecken durchgeführt. Entsprechend der Angaben für die Hochwasserbemessungsfälle 1 und 2 (vgl. Tabelle 2) ergaben sich an den Auslässen (Öffnungen 1 bis 3 in Abbildung 2) Fließgeschwindigkeiten zwischen 15 m/s und 18 m/s. Am Ende der HWE-Stollen vor den Tosbecken (Öffnungen 4 und 5 in Abbildung 2) konnten hierfür Fließgeschwindigkeiten zwischen 3 m/s und 6 m/s ermittelt werden.

Im Hinblick auf die Verfüllung der Tosbecken wurde im Ergebnis der Untersuchungen ein schichtenweiser Aufbau des Sediments empfohlen. Indem die größten Körnungen am Grund des Tosbeckens eingebracht werden und über die Höhe hin abnehmen, wird sichergestellt, dass bei den anfänglich geringen Geschwindigkeiten bereits die kleineren Körnungen abgetragen werden und eine Energieumwandlung in Form eines kontrollierten Wechselsprungs erfolgen kann. Nach und nach wird das Füllmaterial fast vollständig ausgespült und so die Funktion der Tosbecken gewährleistet, was auf den Zuwachs der Fließgeschwindigkeit zurückzuführen ist.

### **3.4 Verklausungsszenarien**

Zum Zeitpunkt der Einreichung des Fachbeitrages wurden noch Versuche zur Verklausung infolge von Treibholz durchgeführt. Gelagertes Holz oder Totholz im Einzugsgebiet des Hochwasserrückhaltebeckens kann vom Hochwasser erfasst und an bzw. durch das Komplexbauwerk befördert werden.

Während die Wahrscheinlichkeit einer Verklausung bedingt durch kleinere Hölzer (Längen unter 6 m) relativ gering ist, besteht bei Treibholz größerer Abmessungen ein erhöhtes Risiko der Verklausung. Die Auswirkungen derartiger Szenarien können die Funktion der Hochwasserentlastungsanlage erheblich beeinträchtigen. Die installierten Leitwände am Boden der Fallschächte bewirken hier einen weiteren positiven Effekt, denn sie tragen zur Ausrichtung der Hölzer in der Strömung bei und begünstigen so den Weitertransport, wodurch ein Zusetzen der Stollenöffnung verhindert wird.



## 4 Resümee

Die Funktion des Komplexbauwerkes für alle Hochwasserbemessungsfälle konnte im physikalischen Modell nachgewiesen werden. Auch die Hochwasserentlastung war mit den vorgegebenen Wasserständen für die Hochwasserbemessungsfälle zu keinem Zeitpunkt überlastet und konnte die Wassermassen kontrolliert abführen. Mit der Ermittlung der Überfallcharakteristik ergaben sich für einen Abfluss (Naturmaßstab) von 35,4 m<sup>3</sup>/s (HWBF 1) eine Überfallhöhe von 0,68 m und ein  $\mu$ -Beiwert von 0,76. Im Falle des HWBF 2, mit 19,2 m<sup>3</sup>/s, betrug die Überfallhöhe 0,48 m und der  $\mu$ -Beiwert 0,72.

Im Hinblick auf die Abführung des Wassers aus der Hochwasserentlastung über die Fallschächte und den Ableitungsstollen in die Tosbecken entstanden Strömungsprozesse, die den Abfluss in den Stollen negativ beeinflussten. Die Bildung einer Walze in den Fallschächten war zu beobachten, wodurch ein Abfluss mit freier Oberfläche in den Stollen nicht gewährleistet war. Diese Walzenbildung konnte durch den Einbau von Leitwänden sowie einer Abrisskante unterbunden sowie ein unkritischer Abflusszustand in den Stollen erzeugt werden. Durch geeignete Messverfahren wurden die damit auf die Leitwände wirkenden Kräfte untersucht und ergaben für den maximalen HWBF ( $Q_{\text{HWBF 1}} = 35,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ) Werte bis zu 53 kN.

Mittels Untersuchungen zu den vorliegenden Fließgeschwindigkeiten können Aussagen über die Verfüllung und Ausspülung der Tosbecken getroffen werden. Mit diesen Informationen wurden Empfehlungen zu Verfüllung der Tosbecken erarbeitet, die eine Energieumwandlung im Belastungsfall garantieren.

## 5 Literatur

- Kobus, H. (1984): Wasserbauliches Versuchswesen. Parey
- Martin, H.; Pohl, R.; Carstensen, D.; Bollrich, G.; Aigner, D. & Horlacher, H.-B. (2009): Technische Hydromechanik 4 - Hydraulische und numerische Modelle. Verlag Bauwesen
- Oumeraci, H. (1998): Möglichkeiten und Grenzen von physikalischen Modellen im Küstenwasserbau. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 13, TU Dresden, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Carstensen

Labor für Wasserbau  
Technische Hochschule Nürnberg Georg-  
Simon-Ohm  
Keßlerplatz 12  
90489 Nürnberg

Tel.: +49 911 5880 1223

Fax: +49 351 5880 5164

E-Mail: [dirk.carstensen@th-nuernberg.de](mailto:dirk.carstensen@th-nuernberg.de)

Dipl.-Ing. Andreas Rudolf

Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt (TSB)  
Leiter Sachgebiet Planung und Bau  
Timmenröder Str. 1a  
38889 Blankenburg

Tel.: +49 3944 942 0

Fax: +49 3944 942 200

E-Mail: [rudolf@talsperren-lsa.de](mailto:rudolf@talsperren-lsa.de)

Dipl.-Ing. Robert Sattler

Lahmeyer Hydroprojekt GmbH  
Regionalbereich Mitte  
Rießnerstraße 18  
99427 Weimar

Tel.: +49 3643 746 431

Fax: +49 3643 746 435

E-Mail: [rs@hydroprojekt.de](mailto:rs@hydroprojekt.de)

M.Eng. Max Heß

Dipl.-Ing. (FH) Tilo Vollweiler

Labor für Wasserbau  
Technische Hochschule Nürnberg Georg-  
Simon-Ohm  
Keßlerplatz 12  
90489 Nürnberg

Tel.: +49 911 5880 1218 bzw. 1124

Fax: +49 351 5880 5164

E-Mail: [max.hess@th-nuernberg.de](mailto:max.hess@th-nuernberg.de)  
[tilo.vollweiler@th-nuernberg.de](mailto:tilo.vollweiler@th-nuernberg.de)